

放射性同位素应用知识

中国科学院原子能研究所編

科学出版社

放射性同位素应用知識

中国科学院原子能研究所編

科学出版社

• 1959

內 容 簡 介

本书內容共分五部分：(1)基础原子核物理；(2)放射性的測量；(3)放射化学基础；(4)安全防护；(5)放射性同位素的应用。

本书較詳尽地闡述了放射性同位素的基本性質、探测放射性的原理和所用的仪器、制备放射性同位素的方法和使用时的操作过程、以及安全防护上的要求等。对于放射性同位素在各方面的应用，本书則仅作一般性的介紹。

本书适合在各方面应用放射性同位素的工作人員和學員閱讀。

放 射 性 同 位 素 应 用 知 識

中国科学院原子能研究所編

*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

*

1959 年 2 月第 一 版

書号：1512 字数：375,000

1959 年 2 月第一次印刷

开本：850×1168 1/32

(京) 00001—12,000

印张：13 3/8 插頁：1

定价：(9) 1.90 元

序

天然放射性物質的發現雖然已經有六十多年了，可是放射性同位素的廣泛應用則只是最近十多年來的事情。這是很容易了解的，因為在人造放射性同位素沒有發現之前，只有天然放射性物質可以利用。天然放射性的品種比較少，價錢十分昂貴，提煉又相當困難；人造放射性物質在沒有反應堆以前也不可能大量便宜地生產，因而就限制了它的廣泛使用。只有在原子反應堆被用來生產放射性同位素以後，放射性同位素的大量生產才有可能，品種也大大增加。這樣，就使得放射性同位素在各方面的應用能够在短短的幾年內迅速地發展起來。到現在差不多在工業、農業、醫療和科學研究中，都用放射性同位素來解決技術上所遇到的困難問題。其中比較突出的如工業方面的測井探礦、鑄件探傷、機件的磨損研究、高爐檢修、厚度和密度的測定、以及生產過程的自動控制、靜電清除、食品和外科用品的殺菌消毒等，農業方面的馬鈴薯的抑制發芽、蠶蟲殺蛹、合理施肥研究、土壤濕度測定、選育品種等，醫療方面的甲狀腺失常病的診斷、腦瘤的定位、各種癌瘤的治療等，都取得了非常顯著的成果。其他如科學研究中關於擴散、光合作用、超微量分析、生物生理等研究工作，也都用放射性同位素作為一種有效的工具。總而言之，放射性同位素應用的面是非常廣的，它和國民經濟的關係也十分密切；它是一門嶄新的科學技術，是和平利用原子能事業中的一個非常重要的項目。

我國在黨的英明領導之下，在蘇聯的無私援助和工作人員建設社會主義的無比熱情之下，在短短的兩年多時間內，建成了功率為 7 千至 1 萬千瓦的重水型實驗反應堆和能够加速 α 粒子到能量為 25 兆電子伏的迴旋加速器。這兩種設備的勝利建成，為我國的和平利用原子能事業打下了堅實的基础，為放射性同位素在各方面應用的迅速開展提供了條件，使我國過去因不能生產放射性同位素以至於不能廣泛應用、

的局面完全改观。目前各方面对于应用放射性同位素的要求显得非常迫切,尤其是在社会主义建設总路綫的光輝照耀下,大跃进形势遍及全国,在鋼鐵战綫上和粮食战綫上,今年都取得了史无前例的巨大胜利,而放射性同位素在这些战綫上也一定可以發揮它的作用。

为了使应用放射性同位素的工作能够广泛地开展,首先必須把放射性同位素的有关知識广为介紹,以建立起一支又紅又专、能够正确使用放射性同位素的技术队伍。本书的編写即服务于这种目的。它的内容共分为五部分:(1)基础原子核物理,(2)放射性的测量,(3)放射化学基础,(4)安全防护,(5)放射性同位素的应用。限于篇幅,这里所介紹的只是一般性的基本知識,目的在于使讀者对放射性同位素的基本性質、探测放射性的原理和所用的仪器、制备放射性同位素的方法和使用时的操作过程、以及安全防护上的要求等,能有正确的了解。至于放射性同位素在各方面的应用,本书只作一般性的介紹,而其具体应用方法,讀者可参考有关的专门文献。放射性同位素应用中的一个十分重要而且是首要的問題为射綫的安全防护問題。每一个使用射綫和放射性同位素的工作人員,必須对这个問題采取十分重視和謹慎的态度;应充分熟悉和掌握射綫防护的知識和技术,才不致造成对人身的危害,以及在发生事故之后,惊惶失措。因此本书在安全防护方面的材料比重比較大,但仍然是很不足的,需要讀者更多参考有关文献資料,特別需要通过实际操作和实习以熟練掌握有关技术和知識。

本书付印仓促,可能会有相当多的錯誤,书的内容取材、編写次序和表示方法等,也还存在着許多缺点。希望讀者能够多多提供宝贵意見,以便将来再版时改正。

編 者 1958.10.1

(K629/59) K021/01

目 录

序	(v)
---------	-------

第一部分 基礎原子核物理

第一章 原子核結構和原子核反应	(3)
-----------------------	-------

1-1 元素和原子結構	(3)
1-2 原子核結構	(5)
1-3 質量、能量和結合能	(7)
1-4 原子核反应	(13)
1-5 稳定的和不稳定的同位素	(20)
1-6 核能級、共振及其他	(22)
1-7 产生核反应的方法和設備	(23)

第二章 放射性的生长与衰变的一般規律	(30)
--------------------------	--------

2-1 衰变定律	(30)
2-2 衰变常数、半衰期和平均寿命	(31)
2-3 放射性的生长与衰变的相互关系	(33)
2-4 多代子体的放射性系	(39)
2-5 放射性强度的单位	(45)

第三章 核衰变的种类	(48)
------------------	--------

3-1 α 衰变	(48)
3-2 α 射綫的能量和半衰期的关系；能量和射程的关系	(50)
3-3 β 衰变	(53)
3-4 β 射綫的最大能量和半衰期与射程的关系	(55)
3-5 γ 衰变	(56)
3-6 β^+ 衰变	(59)
3-7 电子俘获	(60)
3-8 其他类型的核衰变	(63)

第四章 射綫和物質的相互作用	(66)
----------------------	--------

一、带电粒子和物質的作用	(66)
--------------------	--------

4-1 电离和激发	(66)
4-2 散射	(69)
4-3 吸收	(70)
4-4 軀致輻射、光化輻射和契連科夫輻射	(71)
4-5 带电粒子和电場、磁場的作用	(72)

二、光子和物質的作用	(73)
------------------	--------

4-6 光电效应	(73)
4-7 康普敦-吳有訓效应	(74)

1102382

• i •

4-8 电子对的生成	(76)
4-9 γ 射线的吸收	(76)

第二部分 放射性的测量

第五章 放射性的探测仪器	(85)
--------------	------

引 言	(85)
-----	------

一、电离室型探测仪器	(87)
------------	------

5-1 金箔验电器	(87)
-----------	------

5-2 劳里岑验电器	(88)
------------	------

5-3 电离室和静电计管	(89)
--------------	------

5-4 其他测量小电流的仪器	(93)
----------------	------

二、脉冲探测仪器	(94)
----------	------

5-5 气体的电离作用和电压的关系	(94)
-------------------	------

5-6 脉冲电离室	(97)
-----------	------

5-7 正比计数管	(99)
-----------	------

5-8 盖革计数管	(100)
-----------	-------

5-9 闪烁计数器	(106)
-----------	-------

附 录	(109)
-----	-------

第六章 放射性测量常用的电子学线路	(113)
-------------------	-------

6-1 定标器	(113)
---------	-------

6-2 放大器	(120)
---------	-------

6-3 符合及反符合线路	(124)
--------------	-------

6-4 计数率器	(125)
----------	-------

6-5 真空管伏特计	(127)
------------	-------

第七章 放射性的测量	(129)
------------	-------

7-1 测定强度的简单方法	(131)
---------------	-------

7-2 α 射线源强度的测量	(132)
-----------------------	-------

7-3 β 射线的绝对测量	(134)
---------------------	-------

7-4 符合线路测量法	(139)
-------------	-------

7-5 4π 计数管	(141)
----------------	-------

第八章 数据的处理	(143)
-----------	-------

8-1 泊松分布和高斯分布	(143)
---------------	-------

8-2 标准误差和可能误差	(147)
---------------	-------

8-3 几个例子	(152)
----------	-------

附 录	(155)
-----	-------

第三部分 放射化学基础

引 言	(161)
-----	-------

第九章 放射性同位素的来源及其制备	(166)
-------------------	-------

9-1	天然放射性同位素	(167)
9-2	人造放射性同位素	(168)
9-3	靶子的照射和放射性同位素的产率	(176)
第十章 放射化学操作方法		(180)
10-1	共沉淀	(180)
10-2	放射性胶体的形成	(186)
10-3	离子交换	(188)
10-4	溶液萃取	(198)
10-5	挥发法	(204)
10-6	电化学法和反冲沉积法	(205)
10-7	分离程序的制定	(206)
10-8	同位素交换反应	(208)
第十一章 放射性同位素的鉴定		(213)
11-1	测样的制备和测量用的仪器	(213)
11-2	衰变的形式和射线类别	(216)
11-3	半衰期的测定	(217)
11-4	射线能量的测定	(222)

第四部分 安全防护

第十二章 剂量		(233)
12-1	剂量单位	(233)
12-2	最高允许剂量	(238)
12-3	剂量的探测	(246)
第十三章 射线对人体的影响及其防护		(248)
13-1	射线的伤害和防护简史	(248)
13-2	射线对人体的影响	(249)
13-3	射线的防护	(260)
13-4	γ 射线的防护	(279)
13-5	对放射性进入人体的预防	(311)
第十四章 放射性同位素的安全使用		(328)
14-1	放射性实验室	(328)
14-2	工作人员	(334)
14-3	安全检查	(335)
14-4	安全的控制	(337)
14-5	实验室规则	(338)
第十五章 放射性沾染的去除		(340)
15-1	去除沾染的重要性	(340)
15-2	污染的情况分类	(340)

15-3	去除污染的方法	(341)
15-4	放射性废物的排除	(345)
15-5	紧急措施	(349)

第五部分 放射性同位素的应用

第十六章	示踪原子的应用	(355)
------	---------	-------

16-1	原理	(355)
16-2	应用示踪原子的优缺点	(356)
16-3	示踪原子的选择	(357)
16-4	标记化合物的制备	(359)
16-5	示踪实验的设计和注意事项	(360)
16-6	放射性标记物的应用	(363)
16-7	依据完全的物理混合的示踪实验	(365)
16-8	稀释分析法	(366)
16-9	多室系统的研究	(367)
16-10	链式反应的研究	(370)
16-11	化学反应和催化作用的历程	(373)
16-12	自射线照相	(375)
16-13	扩散和自扩散的研究	(379)
16-14	磨损的研究	(381)
16-15	照射分析法	(384)
16-16	示踪原子在农业上的应用	(387)
16-17	示踪原子在钢铁工业中的应用	(389)
16-18	地质学与考古学的“时钟”	(390)

第十七章	射线的应用	(394)
------	-------	-------

17-1	射线的特性	(394)
17-2	射线治疗	(394)
17-3	气体电离	(396)
17-4	静电消除	(396)
17-5	发光和发电	(397)
17-6	射线在农业上的应用	(399)
17-7	射线的化学效应	(403)
17-8	放射性测井	(405)
17-9	γ 射线照相技术和金属探伤	(406)
17-10	厚度和密度的测定	(410)

附 錄 1	参考文献	(413)
附 錄 2	常用物理常数	(413)
附 錄 3	常用放射性同位素表	(414)
附 錄 4	e^{-x} 函数表	(417)
附 錄 5	门捷列夫元素周期表	(418后)

第 一 部 分

基 礎 原 子 核 物 理

第一章

原子核結構和原子核反应

1-1. 元素和原子結構 在談到原子核的結構之前,首先應該談談原子的構造。我們已經知道,地球上所有的物質是由 92 種不同的元素組成的¹⁾。最輕的元素是氫,其次是氮、鋰、鈹、……,最重的元素是鈾。構成某一元素的最基本的單位是該元素的原子。原子是很小的粒子,它的直徑只有 10^{-8} 厘米左右。原子的質量也十分微小,一個氫原子的質量只有 1.6733×10^{-24} 克,就是最重的鈾原子的質量也不過是 3.951×10^{-22} 克。

不同元素的原子具有不同的性質,但是它們的構造是十分相似的。在原子的中心是一個原子核,簡稱為核。離開中心很遠的地方有電子繞着原子核按照着一定的軌道而運行。原子核帶正電荷,電子帶負電荷。一個電子所帶的電荷為 4.8028×10^{-10} 靜電單位,通常用字母 e 來代表它。原子核所帶正電荷的數量由繞行電子的數目決定。例如氫原子只有一個繞行電子,它的核帶有 $1e$ 正電荷;鐵原子有 26 個繞行電子,它的核帶有 $26e$ 正電荷。換句話說,原子核所帶的正電荷恰好和各電子所帶負電荷的總和相等。這樣就構成中性的原子。當原子失去一個或數個(或增加一個或數個)繞行電子時,它就帶有電荷。此時我們就把它稱為離子。

通常用字母 Z 來表示不同元素的原子核所帶的正電荷數(用 e 為單位),亦即是繞行電子數,它稱為原子序數。這樣,元素氫的原子序數為 1 ($Z = 1$),氮的原子序數為 7 ($Z = 7$),……鐵的原子序數為 26 ($Z = 26$),等等。

1) 事實上在自然界里只存在着 90 種元素,因為鐳(αTc)和鐳(αPm)兩元素沒有穩定的同位素。

不同的 92 种元素恰好用 Z 的数值从 1 到 92 来代表。近十多年来，由于用人工方法制造同位素技术的进展，已经有办法在实验室里制造出原子序数比铀还高的新元素，即所谓超铀元素。到目前为止，已制造出 10 种超铀元素 ($Z=93-102$)。当然，这些人造元素的数量都是十分微小的。

绕行电子和原子核构成一个原子，可是它们的质量相差很远。原子核差不多具有原子的全部质量，电子的质量比起核来要轻很多。例如，最轻的氢原子核的质量是 1.67243×10^{-24} 克，而它的一个绕行电子的质量却只有 9.1085×10^{-28} 克。二者的比是：

$$\frac{\text{电子质量}}{\text{氢核质量}} = \frac{9.1085 \times 10^{-28}}{1.67243 \times 10^{-24}} = \frac{1}{1836}$$

原子序数大的元素，这个比数还要小些，例如，铀原子的 92 个绕行电子的总质量和核的质量的比只有 $\frac{1}{4714}$ 。

核的质量虽然几乎等于原子的质量，可是核只佔着整个原子的极小的一部分空间。上面已经提到，原子的直径约 10^{-8} 厘米左右，而核的直径仅在 $10^{-13}-10^{-12}$ 厘米之间。所以在原子核和绕行电子之间，大部分空间是空虚无物的。

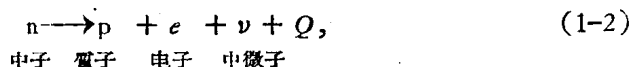
原子核周围的每一个绕行电子都有它固定的轨道（圆形的或椭圆形的）。这些轨道分成好几个壳层，每一个壳层有一定数目的几个轨道。每个轨道最多只能有一个电子。最靠近核的是 K 壳层，它有两个轨道，所以最多只能有两个绕行电子。其次是 L 壳层，它有两个支壳层，第一支壳层有两个轨道，第二支壳层有六个轨道，所以 L 壳层最多只能有 8 个绕行电子。接着是 M 壳层，它有三个支壳层，共有 18 个轨道，所以最多只能有 18 个绕行电子。一般说来，壳层里可以有的最大电子数目可以用 $2n^2$ 来表示。 $n=1$ 代表 K 壳层， $n=2$ 代表 L 壳层，余者类推。在某一轨道绕行的电子具有一定的能量。 K 壳层轨道的电子能量最低，越往外的轨道电子的能量越高。电子可以吸收外来的能量而从能量较低的轨道跃迁至能量较高的轨道，这种现象叫做激发。假如激发的能量很大，使得轨道上的电子能够脱离原子核的吸引力而自由运动，则

称为电离或游离。反之，如果能量較低的軌道还没有电子，則能量較高的軌道的电子亦可以跃迁到这个能量較低的軌道。在这样跃迁的过程中，电子多余的能量一般变成电磁波（光子）放射出来。电磁波的波长 λ 和两个軌道能級差的关系可用下式表示：

$$\frac{hc}{\lambda} = E_n - E_{n'}, \quad (1-1)$$

这里 $h = 6.6252 \times 10^{-27}$ 尔格·秒，称为普朗克常数； $c = 2.99793 \times 10^{10}$ 厘米/秒（通常采用 $c = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒），是光在真空中的速度。 E_n 和 $E_{n'}$ 分別代表电子在壳层 n 和壳层 n' 中的能量。从式（1-1）可以看出，电子从一个軌道跃迁至另一个軌道时所放射出的电磁波的波长是具有固定的值的。

1-2. 原子核結構 在1932年中子被发现之后，人們对于原子核的构造才得到进一步的正确了解。中子是一种不带电的中性粒子，它的質量是 1.6747×10^{-24} 克，比氫核的質量略为重一些，在自然界里中子并不单独存在。它是在原子核受了外来粒子的轟击而起了变化时，才从核里释放出来的。中子在处于自由状态时是不稳定的，它会蜕变成为一个氫核（質子）、一个电子和一个中微子。蜕变的半衰期为 12.8 分鐘。若用式子表示，則为



这里 ν 代表中微子，是一种質量十分微小的中性粒子，它的質量比电子質量的 $\frac{5}{10000}$ 还小； Q 代表在这蜕变过程中所释放出来的能量。我們

現在知道，質子、中子和电子都是基本粒子。原子核就是由質子和中子相結合而成的。現在就以元素氫为例來說明。天然氫的原子并不都是相同的。一种氫原子的質量差不多比另一种氫原子的質量大一倍。較輕的一种的含量佔天然氫的 99.9844%，它的核就是一个質子；另一种称为重氫（或氘），其含量只佔 0.0156%，它的原子質量是 3.3439×10^{-24} 克，它的核（d）由一个質子和一个中子組成。此外，还有一种含量極乎微小而質量更重的氫，称为氚，它的原子質量是 4.991×10^{-24} 克，它的

核由一个質子和两个中子結合而成。氢、氘和氚是原子序数相同、而原子質量不同的元素，它們在周期表上占有同一位置，因此称为同位素 (isotopes)。同位素的原子質量通常称为同位素質量。氢和氘是稳定的，氚是不稳定的，它会放射 β 粒子而蜕变成氦。不稳定的同位素又称为放射性同位素。

通常用式子 ${}_Z X^A$ 来表示同位素，其中 X 代表元素的符号； Z 为原子序数； A 为原子質量数，等于質子和中子的总数。例如，氢、氘和氚用式子来表示分别为 ${}_1\text{H}^1$ ， ${}_1\text{H}^2$ 和 ${}_1\text{H}^3$ 。左下角的数字除了表示原子序数外，还表示原子核里的質子数。中子的数目则为 $A-Z$ 。凡是 Z 相同而 A 不同的称为同位素。 A 相同而 Z 不同的如 ${}_1\text{H}^3$ 和 ${}_2\text{He}^3$ ； ${}_3\text{Li}^3$ ， ${}_4\text{Be}^8$ 和 ${}_5\text{B}^8$ 等則称同量異位素 (isobars)。 $A-Z$ 相同的，如 ${}_5\text{B}^{11}$ ， ${}_6\text{C}^{12}$ 和 ${}_7\text{N}^{13}$ ； ${}_{19}\text{K}^{39}$ ， ${}_{20}\text{Ca}^{40}$ 和 ${}_{18}\text{Ar}^{38}$ 等則称为同中子異荷素 (isotones)。 A 和 Z 都相同，但核处于不同的能級，如 ${}_{47}\text{Ag}^{110}$ 和 ${}_{47}\text{Ag}^{110*}$ ； ${}_{55}\text{In}^{115}$ 和 ${}_{55}\text{In}^{115*}$ 等，則称为同質異能素 (isomers)；处于較高能級的同質異能素通常加一星号，以和低能級的相处区别。

質子和中子相結合而构成原子核，因此它們又都称为核子。在一个核里，質子和中子的相对数目并不是可以成任意比例的。一般說来，在 Z 小的稳定同位素中，中子数差不多等于質子数或略多一些。只有 ${}_1\text{H}^1$ 和 ${}_2\text{He}^3$ 是例外，在它們的核中，中子比質子还少。在 Z 大的同位素中，中子要比質子多。当 Z 甚大时，中子要比質子多 50% 左右。任何含有过多中子或質子的核，都会是不稳定的。

核子間除了有質子与質子間的靜电排斥力外，尚存在一种很強的具引力性質的力，叫做核力。对稳定的核而言，核力克服了靜电斥力而使核子(中子、質子)得以紧紧地結合在一个小体积(核)里。核力的特点是大而力程(力作用所能达到的空間距离)短。据实验証明，当核子間距离大于 5×10^{-13} 厘米时，作用力就微不足道(核力与距离的 6—7 次方成反比)。对各核子(中子、質子)而言，核力的大小都大致相等。

实验証明，核的大小和核子的多少成正比。換句話說，核的半径 R_n 和原子質量数的立方根成正比，即

$$R_n = R_0 A^{1/3}. \quad (1-3)$$

R_0 为一常数, 它的值在不同的文献里并不一致。比較常用的是 $R_0 = 1.2 \times 10^{-13}$ 厘米。

1-3. 質量、能量和結合能 基本粒子的質量都是十分小的, 因此原子或原子核的質量通常用原子質量單位 (amu) 來表示。原子質量單位是以 ^{16}O 的原子質量作為 16.000000 原子質量單位為標準而定出來的。這和化學上所用的原子量有所區別。化學的原子量是以氧元素作為 16 單位, 而自然界里的氧元素是 ^{16}O , ^{17}O 和 ^{18}O 三種同位素的混合物。此外, 原子量只是一個比數, 而原子質量單位則是量度質量的單位。它和克的关系可從表 1-1 所列 $^1\text{H}^1$ 的質量和在 1-1 節里所給 $^1\text{H}^1$ 的質量求出:

$$1 \text{ 原子質量單位} = 1.6599 \times 10^{-24} \text{ 克。}$$

在原子核物理上, 常用的能量單位爾格則嫌太大。一般採用電子伏 (ev) 作為能量的單位。所謂電子伏是指電子在電位差為 1 伏特的電場中從陰極走到陽極時所獲得的能量。因為電子所帶的電荷為 4.8×10^{-10} 靜電單位, 1 伏特的電位差等於 $\frac{1}{300}$ 靜電單位, 所以,

表 1-1

粒 子	符 号	質量(原子質量單位)
電 子	e	0.000549
質 子	p	1.007593
中 子	n	1.008982
氫 原 子	$^1\text{H}^1$	1.008142
氦 原 子	$^4\text{He}^4$	2.014735
氦 原 子	$^3\text{He}^3$	4.003873

$$\begin{aligned} 1 \text{ 電子伏} &= 4.8 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位(電荷)} \times \frac{1}{300} \text{ 靜電單位(電位差)} = \\ &= 1.6 \times 10^{-12} \text{ 爾格。} \end{aligned}$$

此外, 人們還常用兆電子伏 (Mev) 和十億電子伏 (Bev) 作為能量單位。

例 1-1. 在式 (1-1) 里如 E_n 以電子伏作單位, 並將 h, c 的值代入以求 λ , 則得

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{hc}{E_n - E_{n'}} = \frac{6.625 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1.6 \times 10^{-12}} \cdot \frac{1}{E_n - E_{n'}} = \\ &= \frac{12422 \times 10^{-8}}{E_n - E_{n'}} \approx \frac{12345}{E_n - E_{n'}} \text{ 埃,} \end{aligned} \quad (1-4)$$

埃 (Å) 系長度的單位。1 埃 = 10^{-8} 厘米。這個式子在計算特徵 X 射線的波長時應用甚廣。式中用 12345 來代替 12422, 以方便記憶。

例如鉅的 $E_L = -2870$ 電子伏; $E_K = -20,000$ 電子伏, 電子從 L 壳層躍遷至 K 壳層時所放出 X 射線的波長應為

$$\lambda = \frac{12345}{-2,870 + 20,000} = \frac{12,345}{17,130} = 0.720 \text{ 埃}.$$

质量和能量都是物质必具的属性。任何物体都同时具有质量和能量,并且它们之间存在着一定关系:

$$E = mc^2, \quad (1-5)$$

式中 E 为物体的能量; m 为物体的质量,根据狭义相对论,其值在以速度

v 运动的物体为: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, 内 m_0 系该物体静止 ($v = 0$)

时的质量; c 为光在真空中的速度。式 (1-5) 即著名的质量能量互联系定律(或质量能量正比关系)。它指出:任何具有 m 克质量的物体,一定具有 mc^2 尔格的能量;如果运动过程中物体的质量改变了,则物体的能量必按正比的关系相应地改变,反之亦然。

静止质量为 m_0 的物体,其相应的能量为 $E_0 = m_0c^2$; E_0 称为该物体的静止质量能,平时它深深地蕴藏在物体内部。相当于 1 克静止质量的能量为:

$$1 \text{ 克} \times (3 \times 10^{10} \text{ 厘米/秒})^2 = 9 \times 10^{20} \text{ 尔格} = 2.15 \times 10^{13} \text{ 卡};$$

这个数字大约相当于 2,700 吨煤燃烧时所放出的热量(煤的燃烧热为每克 8,000 卡)。利用这个克与尔格间的关系,以及前面已给过的原子质量单位和克、尔格及兆电子伏间的关系,可以计算得:

$$\begin{aligned} 1 \text{ 原子质量单位 (相应的能量)} &= 931.44 \text{ 兆电子伏} \\ &\simeq 931.2 \text{ 兆电子伏}. \end{aligned}$$

在原子核物理学中,为方便起见,我们常常用兆电子伏作为质量的单位。例如:电子的质量为 0.511 兆电子伏,质子的质量为 938.23 兆电子伏等。表 1-2 中列举了原子质量单位、兆电子伏以及其他常用能量单位间的关系。

在任何运动形式的转化过程中,质量仍转化成质量,能量仍转化成能量,并且分别满足质量守恒定律和能量守恒定律。然而,必须注意,这里所指的质量并非单纯的静止质量 m_0 ,而是相对论给出的质量

$$\begin{aligned} m &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}; \text{ 能量亦然: 物体的总能量 } = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ &= m_0c^2 + E, \text{ 这里, } m_0c^2 \text{ 为物体的静止质量能, } E \text{ 为物体的动能.} \end{aligned}$$